



Datation absolue des planchers stalagmitiques de la Grotte du Vallonnet à Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes) France, par la résonnance de spin électronique (ESR)

Yuji Yokoyama, Roland Bibron, Christophe Falguères

► To cite this version:

Yuji Yokoyama, Roland Bibron, Christophe Falguères. Datation absolue des planchers stalagmitiques de la Grotte du Vallonnet à Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes) France, par la résonnance de spin électronique (ESR). *L'anthropologie*, 1988, 2 (92), pp.429-436. halshs-00406219

HAL Id: halshs-00406219

<https://shs.hal.science/halshs-00406219>

Submitted on 21 Jul 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DATATION ABSOLUE DES PLANCHERS STALAGMITIQUES DE LA GROTTE DU VALLONNET A ROQUEBRUNE-CAP-MARTIN (ALPES-MARITIMES) FRANCE, PAR LA RÉSONANCE DE SPIN ÉLECTRONIQUE (ESR)

par

Yuji YOKOYAMA*, Roland BIBRON* et Christophe FALGUERES**

Résumé.— Dans le but de dater le remplissage de la grotte du Vallonnet, deux planchers stalagmitiques de cette grotte ont été datés par la méthode de la résonance de spin électronique (ESR). Pour la base du plancher de fermeture, un âge de $910\,000 \pm 60\,000$ ans a été obtenu. Pour le sommet du plancher stalagmitique inférieur, un âge de $1\,370\,000 \pm 120\,000$ ans a été obtenu. Etant donné que tout le remplissage de cette grotte se trouve entre ces deux planchers stalagmitiques, l'âge du remplissage continental qui renferme l'industrie lithique et la faune est compris entre $910\,000 \pm 60\,000$ ans et $1\,370\,000 \pm 120\,000$ ans. Ces âges sont en accord avec les âges estimés par la faune et le paléomagnétisme.

Abstract.— **Absolute dating of the stalagmitic floors of Vallonnet Cave at Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes) France, by the electronic spin resonance method (ESR).** Two of Vallonnet Cave's stalagmitic floors are dated by the electronic spin resonance method (ESR) for the purpose of dating the deposit of this cave. For the base of the closing stalagmitic floor an age of $910\,000 \pm 60\,000$ years is obtained. For the top of the lower stalagmitic floor, an age of $1\,370\,000 \pm 120\,000$ years is obtained. Given that the entire deposit of this cave is included between these two stalagmitic layers, the age of the continental deposit which contains lithic industry and fauna is between $910\,000 \pm 60\,000$ and $1\,370\,000 \pm 120\,000$ years. These ages agree with the ages estimated from the fauna and paleomagnetism.

1. INTRODUCTION

La grotte du Vallonnet (Alpes-Maritimes) est située à 2,5 km au Sud-Ouest de Menton et à 4,5 km au Nord-Est de Monaco. Ce site a été découvert en 1958 par René Pascal. La fouille de cette grotte a été entreprise successivement par René Pascal en 1958, par Louis Barral et Georges Iaworsky en 1959, par Henry de Lumley de 1962 à 1973 et plus récemment par Annie Echassoux à partir de 1986 (Pascal, 1959; Iaworsky, 1959; Lumley de *et al.*, 1963; Lumley de, 1976, 1988 a)

Ces fouilles ont mis en évidence la présence d'une industrie lithique archaïque, qui comprend au total 70 pièces mises au jour jusqu'à l'été 1987. Cette industrie comprend 4 choppers et 6 chopping tools. Le reste est composé en grande partie par des

éclats et des galets à enlèvement isolé (Lumley de *et al.*, 1988a). Cette industrie, découverte dans un contexte stratigraphique bien établi, est l'un des meilleurs témoignages de la présence de l'Homme en Europe à une époque très ancienne.

Le remplissage de cette grotte est très riche en faune de grands mammifères. Plus de 25 espèces ont été mises en évidence. Les carnivores (loup, renard, lion, panthère, guépard, lynx, hyène, ours) qui représentent environ 30% de la faune, ont vraisemblablement habité la grotte. Par contre, les herbivores (éléphant, rhinocéros, cheval, suidés, cervidés, bovidés) ont été transportés dans la grotte soit par des hommes préhistoriques, soit par les grands carnivores (Lumley de *et al.*, 1988b).

D'autre part, l'analyse pollinique du remplissage (Renault-Miskovsky et Girard, 1978) a permis de reconstituer la variation du climat sous lequel vivait l'Homme préhistorique.

Le remplissage de cette grotte ne dépasse pas 1,50 m d'épaisseur. La stratigraphie du remplissage a été étudiée par Henry de Lumley (1988b) (fig. 1).

* Centre des Faibles Radioactivités, Laboratoire mixte C.N.R.S.-C.E.A., 91190 Gif-sur-Yvette, France.

** Institut de Paléontologie Humaine, UA 184 du C.N.R.S., 1, rue René Panhard, 75013 Paris, France.

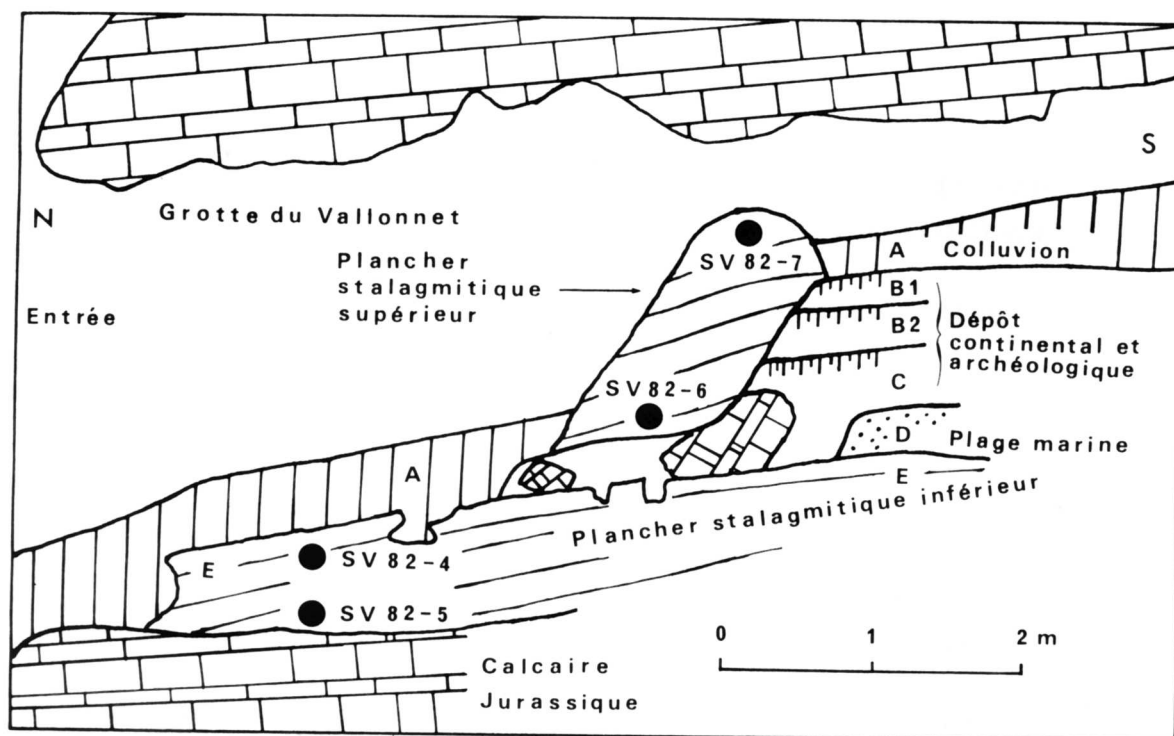


Fig. 1 — Stratigraphie schématique et position des échantillons du remplissage de la grotte du Vallonet.

Fig. 1. — *Schematic stratigraphy and sample position of Vallonet Cave deposit.*

Cette stratigraphie, de la base au sommet, peut être résumée de la manière suivante :

- L'ensemble I est le premier remplissage continental de cette grotte. Cet ensemble a été presque complètement démantelé, et ce qui reste aujourd'hui de cet ensemble est constitué par de gros blocs tombés du plafond de la caverne et par un plancher stalagmitique. Nous appelons ce dernier le plancher stalagmitique inférieur (couche E). Cet ensemble stratigraphique s'est formé sous un climat plus chaud et surtout plus humide que le climat actuel.

- L'ensemble II est une formation marine, constituée par des sables marins riches en débris de coquilles, restes de poissons et foraminifères (couche D). Cet ensemble témoigne d'une mer transgressive, attribuée au Calabrien supérieur. Il correspond à un climat qui devait être beaucoup plus chaud et plus sec que le climat actuel. Cet ensemble stratigraphique doit correspondre à l'une des mers transgressives les plus chaudes de la deuxième moitié du Pléistocène inférieur.

A l'extérieur de la grotte et à l'altitude de + 110 m, une corniche littorale caractéristique, perforée de trous de lithodomes, témoigne de cette mer transgressive. Localement sur les parois intérieures de la

grotte, des trous de lithodomes, d'oursins et de clones sont visibles.

- L'ensemble III est le deuxième remplissage continental de cette grotte. Il est constitué par des dépôts de sables argilo-limoneux. Cet ensemble est subdivisé de la base au sommet en trois couches : C, B2 et B1. C'est cet ensemble stratigraphique qui a livré une industrie archaïque sur galets et une riche faune épivillafranchienne, qui définit l'horizon des faunes du Vallonet.

La première partie de cet ensemble correspond à un climat très sec et vraisemblablement plus froid que l'actuel. Le sommet de cet ensemble correspond à un climat qui devient progressivement plus tempéré et plus humide.

Postérieurement à la mise en place des dépôts de l'ensemble III, un important ravinement a arraché le remplissage du couloir d'entrée et de la région antérieure de la salle.

- L'ensemble IV est caractérisé par un plancher stalagmitique qui s'est déposé sous un climat chaud et humide, après le ravinement de l'ensemble III.

- L'ensemble V (couche A) est constitué par des argiles rouges (ou marron) colluvies qui ont été déposées progressivement au cours de diverses

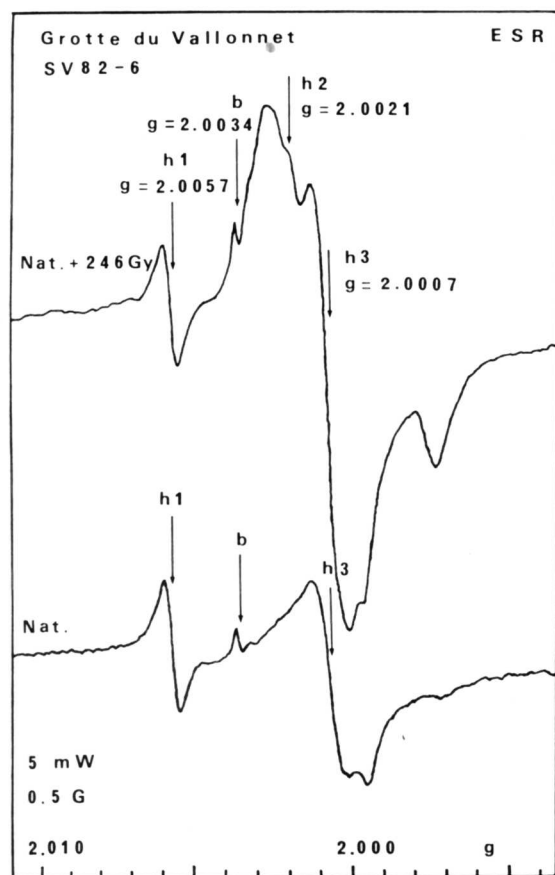


Fig. 2. — Spectre ESR montrant la présence de quatre raies étroites, h1, h2, h3 et b pour un échantillon prélevé dans le plancher supérieur de la grotte du Vallonnet. Une puissance de micro-onde de 5 mW et une amplitude de modulation de 0,5 G. ont été utilisées.

Spectre supérieur : échantillon irradié avec une dose gamma de 246 Gy (24,6 Krad).

Spectre inférieur : échantillon naturel.

Fig. 2. — ESR spectra showing the presence of four sharp lines h1, h2, h3, and b for a calcite sample taken from the upper stalagmitic floor of Vallonnet Cave. A microwave power of 5 mW and a modulation amplitude of 0,5 G were utilized for these spectra.

Upper spectrum : natural + 246 Gy.

Lower spectrum : natural sample

phases humides après le ravinement partiel des ensembles précédents. Par ce fait, ce dépôt d'argiles se trouve sous l'ensemble IV à certains endroits de la grotte.

Dans le but de dater les couches archéologiques de cette grotte, nous avons entrepris la datation absolue des planchers stalagmitiques par la méthode de la résonance de spin électronique (ESR). Nous rapportons dans cet article les résultats obtenus par cette datation.

2. MÉTHODE

Le principe de la méthode de la résonance de spin électronique (ESR) est fondé sur la détection des électrons piégés. Ces électrons piégés sont en fait des défauts de la structure cristalline, qui ont été accumulés au cours du temps par l'action des rayonnements alpha, bêta, gamma, émis par les radio-éléments naturels (l'uranium, le thorium, leurs descendants et le potassium).

Le nombre d'électrons piégés est proportionnel à l'âge de l'échantillon, ce qui permet la datation des échantillons d'âges compris entre quelques milliers et quelques millions d'années.

La méthode ESR peut être appliquée à la datation de divers échantillons tels que la calcite, le quartz, les coraux, les dents et les ossements, mais en général les résultats les plus fiables sont obtenus par la datation des planchers stalagmitiques (Yokoyama *et al.*, 1981a et 1981b).

Nous avons prélevé plusieurs échantillons dans les planchers stalagmitiques de la grotte du Vallonnet.

La calcite extraite de ces planchers stalagmitiques est très pure et on peut ainsi détecter les signaux ESR dus aux électrons piégés (h1, h3, BL) sans être gêné par la présence des signaux dus aux impuretés telles que le manganèse. (fig. 2 et 3).

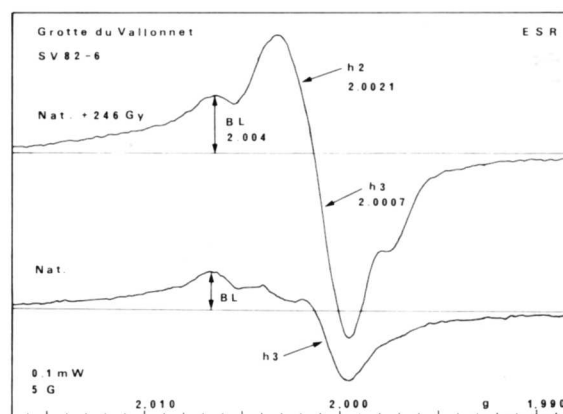


Fig. 3. — Spectres ESR montrant la présence d'une large raie (BL). L'échantillon est le même que celui de la fig. 2. Une puissance de micro-onde de 0,1 mW et une amplitude de modulation de 5 G ont été utilisées pour renforcer la hauteur de BL.

Spectre supérieur : échantillon irradié avec une dose gamma de 246 Gy (24,6 Krad).

Spectre inférieur : échantillon naturel.

Fig. 3. — ESR spectra showing the presence of a broad line (BL). The same sample as that of fig. 2 was used. A microwave power of 0,1 mW and a modulation amplitude of 5G were used for these spectra in order to enhance the intensity of BL.

Upper spectrum : natural + 246 Gy.

Lower spectrum : natural sample.

La datation par la méthode ESR s'effectue par la détermination de la paléodose, dose reçue par l'échantillon depuis sa formation. La paléodose peut donc être déterminée par la méthode de l'addition : l'échantillon est irradié par une source de cobalt-60 à des doses différentes, et la variation de la hauteur du signal ESR en fonction de la dose gamma est extrapolée jusqu'à la hauteur du signal égale à zéro (fig. 4).

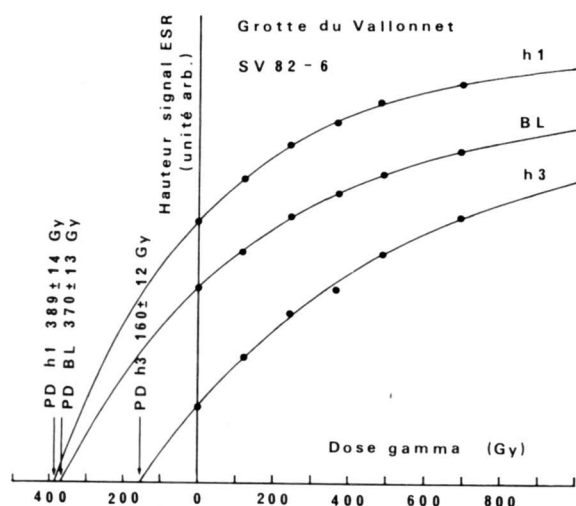


Fig. 4. — Un exemple de la méthode d'addition pour la détermination de la paléodose avec les trois signaux principaux h1, h3, BL, pour un échantillon prélevé dans le plancher stalagmitique supérieur de la grotte du Vallonnet. Pour h3 et BL, les paléodoses (PD) ont été déterminées après un recuit de 140° C pendant 16 h, tandis que celle de h1 a été déterminée après un recuit de 180° C pendant 16 h. Un bon accord a été obtenu entre la paléodose déterminée avec h1 et celle déterminée avec BL, tandis que la paléodose due à h3 est nettement plus faible.

Fig. 4. — An example of the additive method of the palaeodose determination with the three principal signals, h1, h3 and BL for a calcite sample taken from the upper stalagmitic floor of Vallonnet Cave. For h3 and BL, the paleodoses (PD) were determined after the thermal pretreatment of 140° C for 16 h, while that of h1 was determined after the thermal pretreatment of 180° C for 16 h. Note the good agreement of the PD values of h1 and BL. The PD of h3 is much lower than those of h1 and BL.

L'âge de l'échantillon peut être déterminé par le rapport de la paléodose à la dose annuelle, si cette dernière ne varie pas en fonction du temps. Cependant, pour la datation de la calcite, il faut tenir compte des déséquilibres radioactifs dans les familles de l'uranium, car celui-ci est soluble dans l'eau, alors que ses descendants, tels le thorium-230 et le protactinium-231, sont absents à cause de leur

insolubilité. Au fur et à mesure que le temps passe, le thorium-230 et le protactinium-231 se forment par la désintégration de leurs parents, l'uranium-234 et l'uranium-235 respectivement. C'est pour cette raison que la dose annuelle varie en fonction du temps. Par conséquent, nous avons intégré la dose annuelle depuis $t = 0$ jusqu'au temps t pour lequel la dose intégrée devient égale à la paléodose. Ce temps t , donne l'âge de l'échantillon (Yokoyama *et al.*, 1982a).

Le spectre ESR de la calcite présente plusieurs signaux différents dus aux électrons piégés, tels que h1, h2, h3, b et LR. (fig. 2 et 3). Le signal h2 ($g = 2,0021$) a un temps de vie court (environ 10 ans) et il est surtout visible dans le spectre des échantillons irradiés artificiellement. Le signal b ($g = 2,0034$) est parfois utilisé pour la datation des foraminifères. Ce signal est souvent très faible dans la calcite des planchers stalagmitiques. Le signal h3 ($g = 2,0007$) est le signal généralement utilisé pour la datation. Cependant, Yokoyama *et al.* (1981b, 1982b, 1983) ont montré que ce signal a un temps de vie relativement court (200 000 ans à 1 million d'années). Par conséquent, son utilisation est limitée aux échantillons d'âge inférieur à 300 000 ans. Ces auteurs ont donc proposé l'utilisation du signal h1 ($g = 2,0057$), qui a un temps de vie égal à environ 100 millions d'années. L'utilisation de h1 s'effectue par le recuit des échantillons à 180° C pendant 16 h. Par ce recuit, les électrons piégés dans les pièges h2 et h3 sont transférés dans le piège h1.

D'autre part, Apers *et al.* (1981) ont proposé l'utilisation d'une raie large, BL (Broad Line, $g = 2,004$). Yokoyama *et al.* (1988) ont étudié récemment une carotte de calcite prélevée dans un plancher stalagmitique de la grotte de la Basura en Ligurie, Italie. Cette étude a montré que les âges obtenus avec h1 et BL sont en bon accord avec la présence de la limite Brunhes-Matuyama, découverte lors de l'étude paléomagnétique de cette carotte, tandis que h3 a donné un âge beaucoup plus récent. Par conséquent, la datation des planchers stalagmitiques du Vallonnet a été effectuée avec h1 et BL.

3. EXPÉRIENCES

Toutes les mesures ESR ont été effectuées à la température ambiante à l'aide d'un spectromètre Varian E109 bande X. Les échantillons de calcite ont été modérément broyés, et 400 mg de poudre ont été utilisés pour chaque mesure. Les spectres ESR ont été enregistrés toujours dans les mêmes conditions : champ de balayage de 80 Gauss, fréquence de modulation de 100 KHz, puissance micro-onde de 5 mW, amplitude de modulation de 0,5 Gauss et temps de balayage de 8 min. Ces

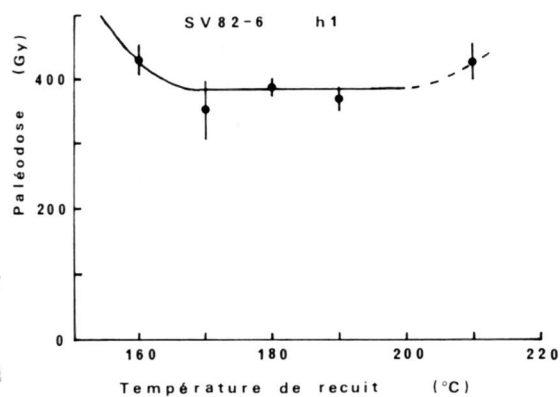


Fig. 5. — Test de plateau pour les paléodoses obtenues avec h1, après des recuits à des températures différentes.

Fig. 5. — Plateau test for the palaeodoses obtained with h1 signal after the thermal pretreatment at different temperatures.

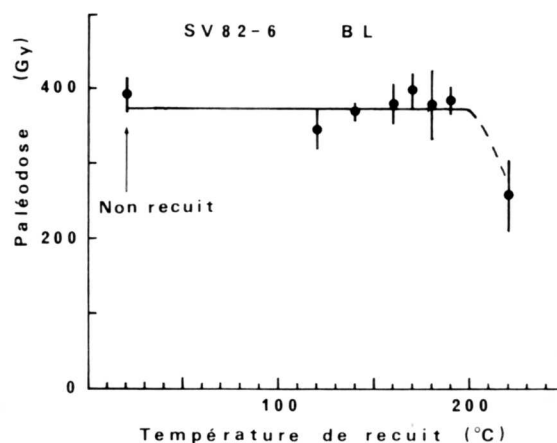


Fig. 6. — Test de plateau pour les paléodoses obtenues avec BL, après des recuits à des températures différentes.

Fig. 6. — Plateau test for the palaeodoses obtained with BL signal after the thermal pretreatment at different temperatures.

conditions ont été utilisées pour la mesure de h1 et h3. Pour la mesure de la large raie (BL), nous avons utilisé une puissance de micro-ondes de 0,1 mW, une amplitude de modulation de 5 Gauss et un temps de balayage de 4 min, car la large raie se sature avec une faible puissance micro-onde et son intensité est par conséquent renforcée dans ces conditions particulières (Yokoyama *et al.*, 1985a).

En général la courbe de croissance du signal ESR en fonction de la dose gamma est exponentielle (fig. 4) :

$$I = I_s (1 - \exp(-\mu(D + PD)))$$

où I est l'intensité du signal à la dose gamma D , I_s est l'intensité de saturation, μ est le coefficient de sensibilité et PD est la paléodose. La détermination de la paléodose a été effectuée par la méthode des moindres carrés (Yokoyama *et al.*, 1985b et 1988).

Dans le but de vérifier la fiabilité de notre méthode, nous avons effectué un test de plateau, constitué par une série de déterminations de la paléodose à des températures différentes de recuit (fig. 5 et 6). Le transfert des électrons piégés du piège h3 dans le piège h1 s'effectue à une température supérieure à 160°C pour un temps de recuit de 16 h. Par conséquent, la détermination de la paléodose avec le signal h1 doit être faite à une température de recuit supérieure à 170°C. D'autre part, la hauteur des signaux h1 et BL commence à décroître à partir d'un recuit supérieur à 200°C, ce qui rend la détermination de la paléodose erronée. C'est pour cette raison que le plateau de h1 est limité à une température comprise entre 170°C et 190°C (fig. 5). Par contre, le plateau de BL s'étend de 20°C (non-recuit) à 190°C (fig. 6).

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le tableau 1 résume les résultats de la détermination des paléodoses, pour les signaux h1, h3, BL dans les quatre échantillons étudiés.

Les paléodoses obtenues avec h1 et BL sont en bon accord. Ces deux signaux ont un temps de vie long (supérieur à 10 millions d'années). Par contre, les paléodoses obtenues avec h3 sont deux à trois fois plus faibles. Ces faibles paléodoses sont dues à la vie courte de h3 par rapport à l'âge de l'échantillon. Par conséquent, les résultats obtenus avec h3 doivent être rejetés dans le cas d'échantillons très anciens.

Les doses annuelles ont été calculées à partir des activités de l'uranium, du radium, du thorium et du potassium dans ces échantillons et dans les sédiments qui les environnent. La mesure de ces activités a été effectuée avec un détecteur gamma-X à germanium de haute pureté (tableau 2). Les doses externes dues aux rayonnements gamma de l'environnement et aux rayonnements cosmiques ont été mesurées *in situ* avec un détecteur scintillateur portable.

Nous avons calculé la variation de la dose annuelle interne en fonction du temps. La dose au moment de la formation de la calcite ($t = 0$) et la dose actuelle ($t = t$) sont reportées dans le tableau 3. L'âge de l'échantillon a été déterminé par l'intégration de la dose annuelle (voir le chapitre 2). Les âges obtenus sont résumés dans le tableau 3.

Nous avons obtenu un âge de $890\,000 \pm 75\,000$ ans pour le sommet du plancher stalagmitique supérieur, et un âge de $910\,000 \pm 60\,000$ ans pour sa base. En ce qui concerne le plancher stalagmitique inférieur, nous avons obtenu un âge de $1\,370\,000 \pm$

Tabl. 1 — Paléodoses déterminées par trois raies ESR, h1 ($g=2,0057$), h3 ($g=2,0007$) et BL ($g=2,004$), pour les calcites prélevées à différentes positions des planchers stalagmitiques de la grotte du Vallonnet à Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes), France.

Table 1. — *Palaeodoses determined from three ESR lines, h1 ($g=2,0057$), h3 ($g=2,0007$) and BL ($g=2,004$), for the calcites taken at different positions of the stalagmitic floors of the Vallonnet Cave at Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes), France.*

Plancher stalagmitique	Position	N°	Paléodose (Gy)		
			h1	BL	h3
Supérieur	Sommet	SV82-7	486 ± 46	405 ± 47	142 ± 7
	Base	SV82-6	389 ± 14	370 ± 13	160 ± 12
Inférieur	Sommet	SV82-4	590 ± 59	529 ± 49	321 ± 32
	Base	SV82-5	593 ± 30	609 ± 37	300 ± 35

Pour les raies h3 et BL, la paléodose a été obtenue après un prétraitement thermique de 16 heures à 140°C . La paléodose de la raie h1 a été obtenue après un prétraitement thermique de 16 heures à 180°C .

Tabl. 2. — Activités de l'uranium 238 et du radium 226 des calcites prélevées à différentes positions des planchers stalagmitiques de la grotte du Vallonnet à Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes), France.

Table 2. — *U-238 and Ra-226 activities of the calcites taken at different positions of the stalagmitic floors of the Vallonnet Cave at Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes), France.*

Echantillon	Ra-226 (dpm/g)	U-238 (dpm/g)	Ra-226/U-238
SV82-7	$0,240 \pm 0,009$	$0,240 \pm 0,018$	$1,00 \pm 0,08$
SV82-6	$0,270 \pm 0,007$	$0,256 \pm 0,020$	$1,05 \pm 0,09$
SV82-4	$0,222 \pm 0,004$	$0,218 \pm 0,014$	$1,02 \pm 0,07$
SV82-5	$0,269 \pm 0,006$	$0,268 \pm 0,019$	$1,00 \pm 0,07$

120 000 ans pour son sommet et un âge de $1\,400\,000 \pm 120\,000$ ans pour sa base.

Par conséquent, l'âge des couches archéologiques de la grotte du Vallonnet est compris entre $910\,000 \pm 60\,000$ ans et $1\,370\,000 \pm 120\,000$ ans. Cet âge est cohérent avec la biochronologie de cette grotte. En effet, l'âge faunique de l'horizon des faunes du Vallonnet peut être estimé entre 700 000 et 1 200 000 ans : ses macrofaunes peuvent être situées entre les faunes du Galérien d'Italie et celles d'Untermassfeld en Europe Centrale (Lumley *et al.*, 1988b). Les microfaunes du Vallonnet, caractérisées par *Allophaiomys pliocaenicus pitomyodes*, peuvent être situées à la fin du Pléistocène inférieur ou au début du Pléistocène moyen (Chaline, 1977a et 1977b).

D'autre part le paléomagnétisme de l'ensemble III, dont la direction est normale, suggère que l'âge

de cet ensemble se situe soit dans la période de Brunhes ($< 0,73\text{ MA}$) soit dans l'évènement de Jaramillo ($0,91$ à $0,98\text{ MA}$) soit dans celui d'Olduvai ($1,66$ à $1,82\text{ MA}$).

En conclusion, la méthode de résonance de spin électronique (ESR) a pu permettre de préciser l'âge du plus ancien habitat en grotte de l'Homme préhistorique, mis en évidence en Europe jusqu'à présent.

REMERCIEMENTS :

Nous remercions Henry de Lumley pour la discussion fructueuse et C. Chachaty du Département de Physico-chimie du Centre Nucléaire de Saclay pour l'utilisation du spectromètre ESR.

Cet article est répertorié CFR contribution n° 918.

Tabl. 3. — Ages déterminés par deux raies ESR, h1 ($g = 2,0057$) et BL ($g = 2,004$), pour les calcites prélevées à différentes positions des planchers stalagmitiques de la grotte du Vallonnet à Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes), France.

Table 3. — Ages determined with two ESR lines, h1 ($g = 2,0057$) and BL ($g = 2,004$), for the calcites taken at different positions of the stalagmitic floors of the Vallonnet Cave at Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes), France.

Plancher stalagmitique	N°	Dose annuelle ($\mu\text{Gh/y}$) int. ext. $t=0$, $t=t$	Raie	Paléodose (Gy)	Age (ka)	Age moyen (ka)
S U P E R I E U R	Sommet	7*	h1	486 ± 46	980 ± 115	890 ± 75
			BL	405 ± 47	830 ± 110	
	Base	6*	h1	389 ± 14	930 ± 80	910 ± 60
			BL	370 ± 13	890 ± 80	
I N F E R I E U R	Sommet	4*	h1	590 ± 59	1450 ± 190	1370 ± 120
			BL	529 ± 49	1310 ± 160	
	Base	5*	h1	593 ± 30	1380 ± 140	1400 ± 120
			BL	609 ± 37	1420 ± 170	

* Le numéro d'échantillon est abrégé (7= SV82-7).

Pour le calcul de la dose annuelle, la croissance du Th-238 dans la calcite a été prise en compte. Dans ce tableau, les doses annuelles internes aux deux dates, $t=0$ et $t=t$ (le présent) sont montrées à titre indicatif. Un facteur K (le rapport des sensibilités α/β) égal à $0,25 \pm 0,02$ a été utilisé. L'incertitude des doses annuelles est comprise entre 7 et 8,5%.

L'âge est déterminé par l'intégration des doses annuelles en fonction du temps. L'erreur de l'âge a été calculée par l'addition quadratique des erreurs de la paléodose et de la dose annuelle.

BIBLIOGRAPHIE

1. APERS D., DBUYST R., CANNIERE P. de., DEJEHET F. et LOMBARD E. (1981) : Critique de la datation par résonance paramagnétique électronique (ESR) des planchers stalagmitiques de la Caune de l'Arago à Tautavel. In "Datations absolues et analyses isotopiques en préhistoire, méthodes et limites". Edité par Henry de Lumley et Jacques Labeyrie, Colloque international du C.N.R.S., pp. 533-550, 10 fig., 1 tabl., 8 réf. bibl.
2. CHALINE Jean (1977) : Essai de biostratigraphie et de corrélations climatiques du Pléistocène inférieur et moyen continental holarctique d'après l'évolution et la dynamique des migrations de rongeurs. Recherches françaises sur le Quaternaire, INQUA 1977. Supplément au Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire (A.F.E.Q.), 1977-1, n° 50, pp. 361-439, 3 tabl., 97 réf. bibl.
3. CHALINE Jean (1977) : Rodents and the Middle Pleistocene Environments in Europe. Xth INQUA Congress, Birmingham 1977, Abstracts, p. 71.
4. IAWORSKY Georges (1959) : La grotte du Vallonnet (Roquebrune-Cap-Martin, Alpes-Maritimes). Congrès Préhistorique de France. Livret-guide de la XVIème session, Principauté de Monaco, 28 Août-5 Septembre 1959, pp.103-105, 1 fig.
5. LUMLEY Henry de (1976) : Les premières industries humaines en Provence, in, La Préhistoire Française, t. I.2., pp. 765-776, 7 fig., 2 tabl., 8 réf. bibl., Editions du C.N.R.S., Paris, France (le Vallonnet, pp. 765-770, 2 fig. et 2 tabl.).
6. LUMLEY H. de (1988a) : La grotte du Vallonnet, Roquebrune-Cap-Martin, Alpes-Maritimes, situation géographique, description, historique. Ce volume, 3 fig., 55 réf., bibl.
7. LUMLEY H. de (1988b) : La stratigraphie du remplissage du Vallonnet. Ce volume, 3 photos, 5 tabl., 34 réf. bibl.

8. LUMLEY Henry de, GAGNIERE Sylvain et PASCAL René (1963) : Découverte d'outils préhistoriques d'âge villafranchien dans la grotte du Vallonnet (Roquebrune-Cap-Martin, Alpes-Maritimes). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, t. 256, séance du 13 Mai 1963, groupe 9, pp. 42611-4262 (note présentée par M. Jean Piveteau).
9. LUMLEY H. de, FOURNIER A., KRZEPKOWSKA J. et ECHASSOUX A. (1988b) : L'industrie du Pléistocène inférieur de la grotte du Vallonnet, Roquebrune-Cap-Martin, Alpes-Maritimes. Ce volume, 58 fig., 36 tabl., 170 réf. bibl.
10. LUMLEY H. de, KAHLKE H.-D., MOIGNE A.-M. et MOULLE P.-E. (1988b) : Les faunes des grands mammifères de la grotte du Vallonnet, Roquebrune-Cap-Martin, Alpes-Maritimes. Ce volume, 17 fig., 10 tabl., 97 réf. bibl.
11. PASCAL René (1959) : Gisement du Vallonnet. Rapport sur le sondage effectué en 1958. *Congrès Préhistorique de France. Comptes Rendus de la XVIème session*, 28 Août-5 Septembre 1959.
12. RENAULT-MISKOVSKY Josette et GIRARD Michel (1978) : Analyse pollinique du remplissage pléistocène inférieur et moyen de la grotte du Vallonnet (Roquebrune-Cap-Martin, Alpes-Maritimes), précédée d'une introduction sur la grotte du Vallonnet par Henry de Lumley. *Géologie Méditerranéenne*, tome V, n° 4, 1978, pp. 385-402, 6 fig., dont 1 diagramme palynologique et 4 tabl., 4 pl. phot., 34 réf. bibl.
13. YOKOYAMA Y., QUAEGEBEUR J.-P., BIBRON R., LEGER C., NGUYEN H. V. et POUPÉAU G. (1981a) : Datation par la résonance de spin électronique (ESR) des ossements de la Caune de l'Arago à Tautavel. In *"Datations absolues et analyses isotopiques en préhistoire, méthodes et limites"* édité par Henry de Lumley et Jacques Labeyrie, Colloque International du C.N.R.S., pp. 457-492, 8 fig., 6 tabl., 19 réf. bibl.
14. YOKOYAMA Y., QUAEGEBEUR J.-P., BIBRON R., LEGER C., NGUYEN H. V. et POUPÉAU G. (1981b) : Datation par la résonance de spin électronique (ESR) des stalagmites de la Caune de l'Arago à Tautavel. In *"Datations absolues et analyses isotopiques en préhistoire, méthodes et limites"* édité par Henry de Lumley et Jacques Labeyrie, Colloque International du C.N.R.S., pp. 507-532, 9 fig., 6 tabl., 11 réf. bibl.
15. YOKOYAMA Y., NGUYEN H. V., QUAEGEBEUR J.-P. et POUPÉAU G. (1982a) : Some problems encountered in the evaluation of annual dose-rate in the electron spin resonance dating of fossil bones. *PACT* 6, pp. 103-115, 6 fig., 4 tabl., 13 réf. bibl.
16. YOKOYAMA Y., QUAEGEBEUR J.-P., BIBRON R., LEGER C., NGUYEN H. V. et POUPÉAU G. (1982b) : Datation du site de l'Homme de Tautavel par la résonance de spin électronique (ESR) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 294, série II, pp. 759-764, note présentée par M. Jean Piveteau, 2 fig., 1 tabl., 9 réf. bibl.
17. YOKOYAMA Y., QUAEGEBEUR J.-P., BIBRON R. et LEGER C. (1983) : ESR dating of Palaeolithic calcite : thermal annealing experiment and trapped electron lifetime. *PACT* 9, pp. 371-379, 5 fig., 1 tabl., 3 réf. bibl.
18. YOKOYAMA Y., BIBRON R., LEGER C. et QUAEGEBEUR J.-P. (1985b) : ESR dating of Palaeolithic calcite : fundamental studies. *Nuclear Tracks* 10, pp. 929-936, 8 fig., 3 tabl., 14 réf. bibl.
19. YOKOYAMA Y., FALGUERES C. et QUAEGEBEUR J.-P. (1985b) : ESR dating of quartz from Quaternary sediments : first attempt. *Nuclear Tracks* 10, pp. 921-928, 6 fig., 1 tabl., 40 réf. bibl.
20. YOKOYAMA Y., BAHAIN J.-J., TUCHOLKA P. et BIBRON R. (1988) : Stability of trapped electrons in ESR dating of Quaternary calcite : comparison with palaeomagnetism. *Quaternary Science Reviews*, Proceedings of 5th Specialist Seminar on TL and ESR Dating, Cambridge, July 6-10 1987 (à paraître), 5 fig., 3 tabl., 20 réf. bibl.